

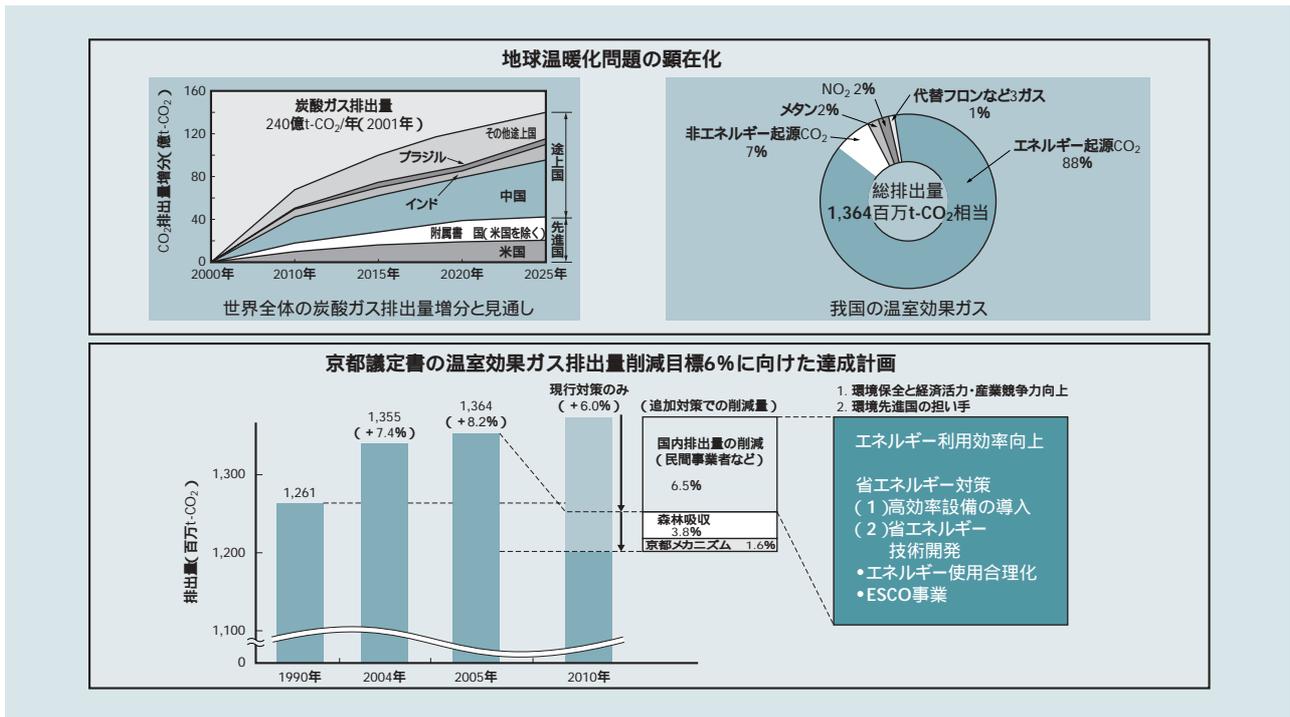
# 炭酸ガス排出量削減により、 環境に貢献する日立のエネルギーソリューション

Contribution toward Global Warming Restraint through Wide-ranging Reduction Technologies of CO<sub>2</sub> Emission by Hitachi

坂内 正明 Masaaki Bannai  
富田 泰志 Yasushi Tomita

木村 泰崇 Yasutaka Kimura  
吉田 卓弥 Takuya Yoshida

藤居 達郎 Tatsuo Fujii



注:略語説明 ESCO( Energy Service Company ), CO( 炭酸ガス ), NO( 二酸化窒素 )

図1 温室効果ガス排出量と削減の達成計画

経済発展、人口増加により、先進国、途上国のエネルギーの使用量が増え、炭酸ガスの排出量も増大し、温暖化が顕在化してきた。人類の存亡にもかかわる温暖化抑止政策が早急に望まれる。

## 地球温暖化の進展と、 求められる企業の対策

地球規模の環境の変化、中でも温暖化の進展により、近年は異常気象だけでなく生活環境の変化も直接感じられるようになってきた。

GHG( Greenhouse Gas:温室効果ガス<sup>(a)</sup> )の削減をめざし、2005年2月に京都議定書が発効した。2006年4月1日には、**エネルギーの使用の合理化に関する法律<sup>(b)</sup>**( 省エネ法 )と**地球温暖化対策の推進に関する法律<sup>(c)</sup>**( 温対法 )がいずれも改正され、それぞれ対象工場・事業所拡大、GHG排出量の

報告、公表制度が導入された。

京都議定書の第一約束期間( 2008年から2012年の5年間 )を間近に控える中、国内の企業活動は好調さを維持しているが、輸入に依存した化石エネルギーの高騰など、エネルギーを取り巻く環境も激変し、GHG、とりわけ炭酸ガス削減は容易でない状況にある。

一方、炭酸ガス削減や省エネルギーなどの環境改善活動は、企業の社会的責任であるだけでなく、企業価値の向上にも直結するような社会が形成されてきた。

炭酸ガス削減は、人類が営みを続けていくためには永遠のテーマである。

### ( a ) 温室効果ガス

大気中に含まれる気体の中で、地表から放出された熱を一部吸収し、地表を温める働きを持つ気体の総称。それらの排出量の急激な増加によって、地球規模での温暖化が進んでいることから、排出量の削減が課題となっている。京都議定書における排出量削減対象は、炭酸ガス( CO<sub>2</sub> )、メタン( CH<sub>4</sub> )、一酸化炭素( CO )、パーフルオロカーボン( PFC )、ハイドロフルオロカーボン( HFC )、六フッ化硫黄( SF<sub>6</sub> )の6種類である。

**(b) エネルギーの使用の合理化に関する法律**

燃料資源を効率的に利用し、経済発展に寄与するため、工場、建築物、機械器具についてのエネルギー消費の合理化を推進する法律。一定量以上のエネルギーを使用している工場は、エネルギー管理指定工場に指定され、エネルギー管理者の選任、エネルギー使用の合理化の推進、エネルギーを消費する設備の維持、エネルギー使用方法の改善・監視を行わなければならない。また、燃料の使用量、使用状況、設備の状況などを報告することが義務づけられている。

**(c) 地球温暖化対策の推進に関する法律**

国、地方公共団体、事業者それぞれに対して温室効果ガス抑制のための対策を責務とし、京都議定書の目標達成に向けて、地球温暖化対策の推進を図る法律。温室効果ガスを一定量以上排出する事業者(特定排出者)に、温室効果ガスの排出量を算定し、国に報告することを義務づけている。国は報告された情報を集計し、公表することにより、事業者の対策強化を促進する。

日立グループはGHGの中でも温暖化に最も影響を与えている炭酸ガスの排出削減に、ESCO(Energy Service Company)というビジネスモデルを用いて貢献してきた。ESCO事業は炭酸ガスを削減しようとする顧客と日立グループとの共同作業である。産業部門、民生部門(特に業務部門)を主要顧客として、多種多様な炭酸ガス削減策と省エネルギー策を実践している。

**地球環境とエネルギーを取り巻く動向**

**地球温暖化と炭酸ガス濃度**

2005年に観測された世界の平均気温の平年差は+0.32度であり、統計開始以来2番目に高い値を記録した。この主要因である大気中の炭酸ガス濃度は、18世紀初頭の産業革命以前の280 ppmから、2004年には377 ppmにまで増加した(図1参照)。

図2は、地球の炭素収支だが、化石燃料などによる人為排出量が地球の自然吸収量を年間32億t-Cを上回るため、大気中の炭酸ガスの濃度は毎年増加基調にある。その結果、大気温度は、過去100年当たり0.66度の割合で上昇し、今後BRIC(ブラジル、ロシア、インド、中国)の経済が成長すると、さらに温暖化の進行が見込まれる。気候変動に関する政府間パネルが2001年に取りまとめた報告書では、1990年から2100年までの平均気温上昇を1.4~5.8度と予測している。炭酸ガス排出抑制策として、省エネルギーは有力な手段の一つである。

**新・国家エネルギー戦略**

2006年5月に経済産業省は、2030年を見据えた「新・国家エネルギー戦略」を策定した。戦略によって実現をめざす目標は次の3点である。

- (1) 国民に信頼されるエネルギー安全保障の確立
- (2) エネルギー問題と環境問題の一体的解決による持続可能な成長基盤の確立
- (3) アジア・世界のエネルギー問題克服への積極的貢献

わが国は1970年代の石油ショック以来、不断の努力を続け、2000年初頭までの30年間に、37%ものエネルギー消費効率の改善を実現し、今日では世界最先端の領域に到達した。さらに、2030年までに少なくとも30%の効率改善をめざして取り組んでいく(図3参照)。

この目標値を達成するために、実現が期待される省エネルギー技術開発の方向性を図4に示す。

日立グループが提供するエネルギーソリューションは、部門横断・産業・民生部門で開発される技術を融合・組み合わせることにより、各顧客に対して、最も有効な省エネルギーシステムを提供する。開発当初も、省エネルギー効果が大きい最新の開発技術を取り入れながら、全体に有機的なシステムを構築することにより、顧客の事業性も損なうことなく、環境性と省エネルギー性を最大化することを目標としている。

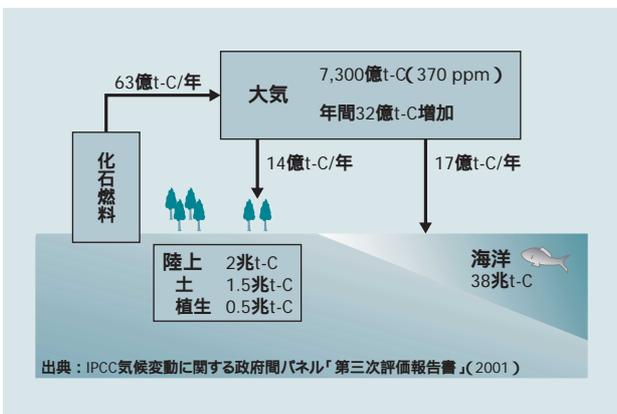
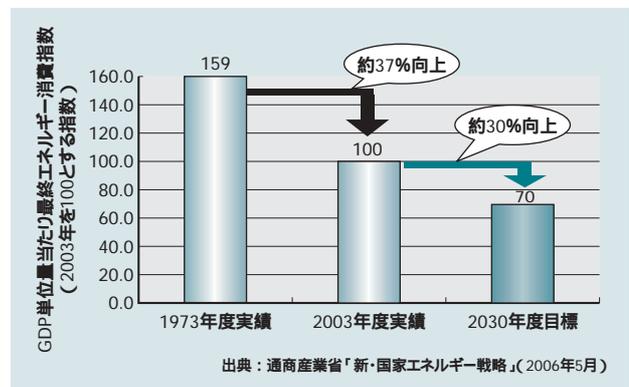


図2 地球の炭素収支 (推定)  
温暖化の進行を止めるためには、大気中への炭素排出量を地球の自然吸収とバランスを図る必要がある。



注：略語説明 GDR(Gross Domestic Product)  
図3 新・国家エネルギー戦略と今後の省エネルギー  
わが国は、今後も官民をあげて世界で最も進んだ省エネルギーレベルを達成し、海外への技術移転も行っていく。

エネルギー価格とエネルギーソリューション  
 炭酸ガス排出量を削減するエネルギーソリューション事業では、設備稼働時のエネルギーコスト削減が最も重要である。産業・民生部門の事業所で使用するエネルギーは、主に電気と化石燃料(石油・都市ガス)である。

電力会社の発電用の一次エネルギーでは、化石燃料のうち石油・LPG( Liquefied Petroleum Gas )LNG( Liquefied Natural Gas )が占める割合は2004年時点で35%にすぎない。このため、石油系・LNGの価格変動が電気価格に与える影響は相対的に小さい<sup>3)</sup>。

これに対し、重油や都市ガスなどの燃料価格は輸入価格に大きく影響される。電気代は、年を追うごとに低下しているが、重油、都市ガスは右上がりの傾向にある。

エネルギーソリューションは、炭酸ガス排出量の削減とエネルギーコスト低減という、相反する二つのニーズを同時に実現する。

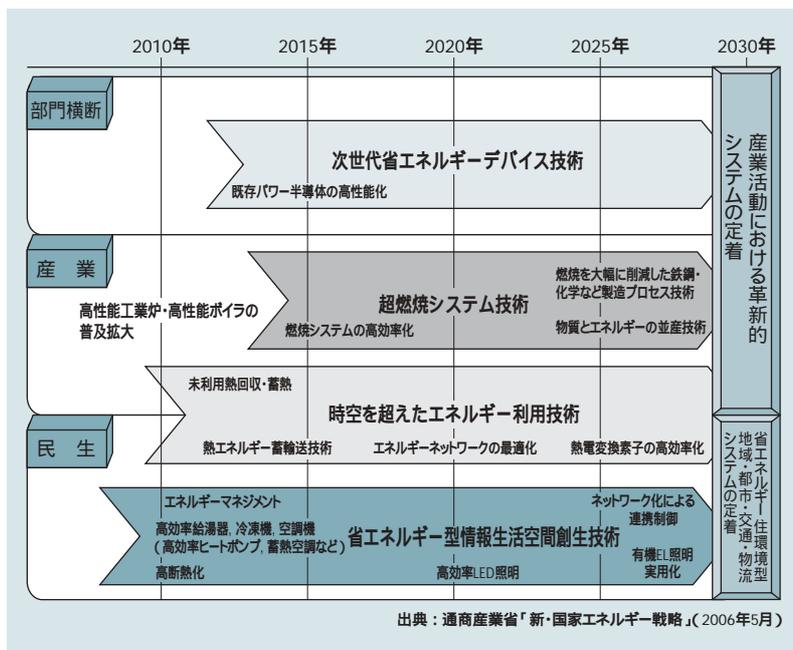
### 日立が提供するソリューション技術

ソリューションの計画では、将来のエネルギー価格の動向も予測しながら事業所に最適な設備計画を策定することが肝要である。

また、ここ数年の大幅な原油代高騰のような予期し得ない状況の発生も予測しながら、柔軟なシステム計画の策定が望まれる。

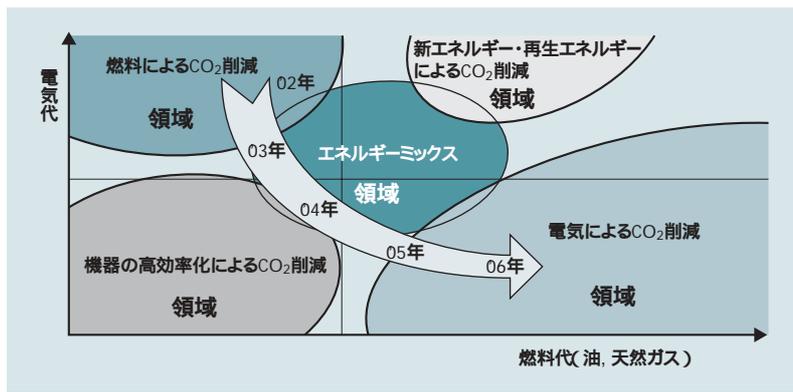
エネルギー価格(電気代、燃料代)と価格帯別に対応するソリューション技術を図5に示す。2003年以前には、同図の領域に位置していたエネルギー価格は、ここ数年で領域からさらにまで移動した。現時点(2007年初め)では、相対的に安価な電気を利用したシステム、新エネルギー・再生エネルギー、排熱を使用したシステムが有望である。

以上に述べたように、現状のエネルギー価格と、ソリューション実現のための対応技術に十分配慮しながら全体システムを計画するべきである。次に、その具体例を紹介する。



出典：通商産業省「新・国家エネルギー戦略」(2006年5月)

注:略語説明 LED( Light Emitting Diode ),有機EL( Organic Electroluminescence )  
 図4 2030年に向けた省エネルギー技術開発の方向性  
 部門ごとと部門横断の技術を開発し、これらをエネルギーの利用形態が異なる事業所ごとに有機的に導入していくことが重要である。



注:略語説明 LPG( Liquefied Petroleum Gas ),LNG( Liquefied Natural Gas )

図5 エネルギー価格とソリューション対応技術  
 エネルギー価格(電気代、燃料代)と価格帯別に対応するエネルギーソリューション技術は異なる。長期的視野に立った計画が重要である。

### 炭酸ガス排出権取引

環境省は2005年に炭酸ガス削減に向けて事業者の自主的・積極的な努力を促す新しい排出権取引の制度を作った。

新制度は「自主参加型排出量取引制度」(以下、排出量取引制度と言う。)である。

排出量取引制度とは、排出枠が交付されている企業間で、排出枠の一部の移転・取得を認めるものである。すなわち、この制度は炭酸ガス排出の削減対策単価が高い企業が単価の安い企業から排出枠を購入することにより、全体として最小の費用で排出削減目標を達成する市場メカニズムを利

用した制度である。

株式会社日本キャンパックは、清涼飲料水・コーヒー類の受託製造と販売を行っている企業である。同社赤城工場には、コーヒー・茶などのペットボトル飲料製造を行うペットラインがあり、製造量は年間1,700万ケース(2004年度実績)を超えている。電気だけではなく、製品充填(てん)前後の殺菌のため、蒸気も多量に消費するのが特徴である。

同工場のESCO事業<sup>4)</sup>では、環境省が2005年に公募した排出量取引制度という仕組みを導入することにより、費用効率的、かつ確実に炭酸ガス排出量の削減を達成することをめざしている。

導入した省エネルギー設備は、核となる炭酸ガス排出量が少ない天然ガスのコージェネレーション<sup>d</sup>設備、ガス焚きボイラ、および高効率ターボ冷凍機である。

設備は2006年5月から運転を開始した。この設備が順調に移働すると、ESCO導入前に比べ、導入後の炭酸ガス排出量は、年間1万2,500 t-CO<sub>2</sub>削減(削減率約39%)できる(図6参照)。排出量取引制度に参加しているため、2006年度の炭酸ガス排出削減量が予想値よりも多くなる場合には、他の取引事業参加者に排出量の権利を余剰分として売却することができる。

排熱を有効活用した温室効果ガスの削減  
近年、エネルギー価格の変動は激しく、原油埋蔵のピークアウト論の台頭とともに、

特に石油系燃料の価格が著しく上昇した。

従来、低温排熱(100 未満)は、熱回収が技術的・経済的のいずれの面からも難しく、工場などでは温排水として廃棄されていた。

燃料価格が上昇している昨今の環境下では、80 以上の低温排熱も、エネルギーとしての価値があり、排熱エネルギーを有効に回収する新しいシステムとして、排熱を利用した熱駆動ヒートポンプ、排熱を熱源とする電気ヒートポンプが脚光を浴びている。

自動車部品工場で90 の排熱を利用した吸収ヒートポンプを図7に示す。このヒートポンプの加熱容量は153 kWであり、133 (圧力0.2 MPaG)以上の蒸気を取り出すことができる。

年間の炭酸ガス削減効果は2,294 t-CO<sub>2</sub>が見込まれる。

機器の効率化

エネルギーソリューションは、エネルギー利用形態が異なる顧客ごとに最適なCO<sub>2</sub>削減策を見出すことであるが、削減効果を最大化するためには、ソリューションシステムを構成する機器のエネルギー変換の効率向上も重要な意味を持つ。

日立グループでは、ソリューションシステムを計画する際は、ESCOのサービス期間での累積のLCM(Life Cycle Management)、LCC(Life Cycle Cost)を最大化するシステムを構築する。

産業部門の事業所で多量に消費される電気と熱(冷熱)を製造する代表的な機器

(d) コージェネレーション

発電を行うとともに、その際に発生する排熱を冷暖房や給湯に利用するシステム。従来の発電システムではむだにされていた熱を有効利用することで、総合エネルギー効率を70～80%以上まで高めることができ、炭酸ガス削減や省エネルギーに効果をもたらす。現在、発電機としては、ガスタービンエンジン、ガスエンジン、ディーゼルエンジンが主に用いられているが、将来の技術として燃料電池の利用も期待されている。

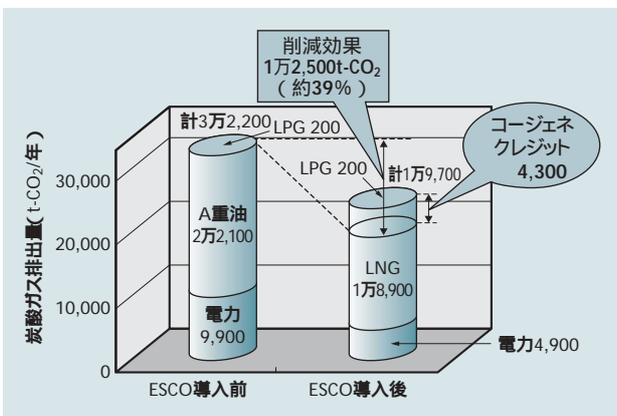


図6 ESCO導入前と導入後の炭酸ガス排出量の比較  
炭酸ガス排出削減量が予想値よりも多くなる場合には、排出量の権利を売却することができる。

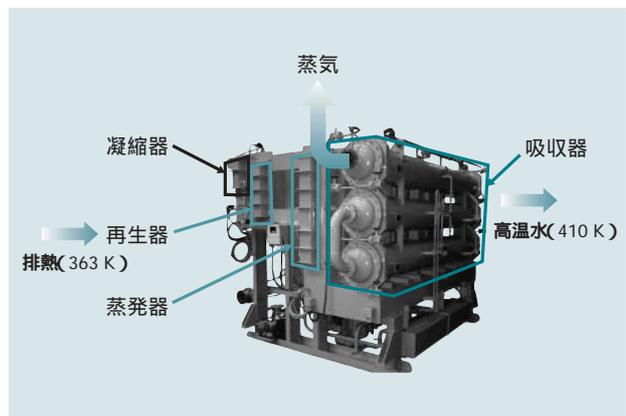


図7 吸収ヒートポンプの外観(加熱容量150 kW)  
ヒートポンプは排熱を利用して高温水を取り出すことができる。取り出した高温水から蒸気(200 kPa)を作り、工場へ供給している。

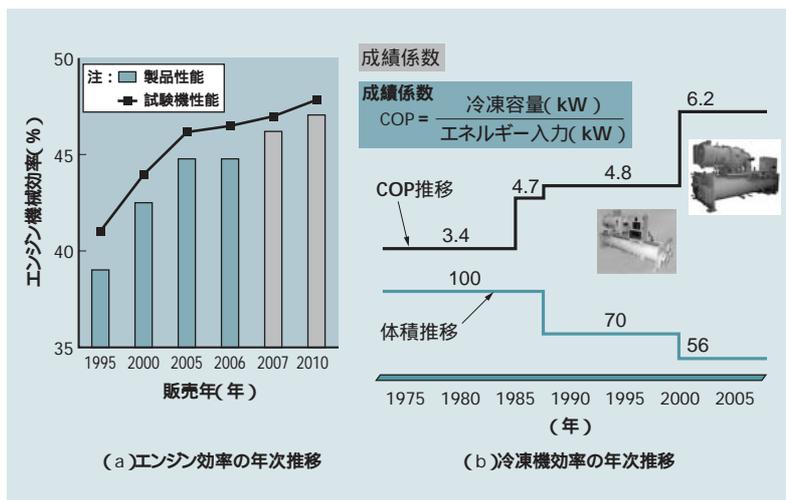
であるガスエンジンと冷凍機の効率の年次推移を図8に示す。ガスエンジンの効率は、11年前に比べて13.8%、ターボ冷凍機では約30年前に比べて82%向上している。

### 新エネルギーの実用化

自然界に存在するエネルギーから有効エネルギーを回収する技術のうち、技術的に実用化段階に達しつつあるが、経済的制約から普及が十分でなく、石油代替エネルギーの導入を図るために必要なものが、新エネルギー<sup>4)</sup>と定義されている。

代表的な新エネルギーには太陽光、バイオマス<sup>(e)</sup>、風力などがある。従来、わが国においての新エネルギー設備の導入は、エネルギー効率、設備建設費の両面の課題があり、広く普及するに至っていない。しかし、新エネルギーは自然界に広く賦存し、エネルギー回収時には炭酸ガスがほとんど発生しない環境対応型エネルギーであり、課題が解決されれば、今後有望なエネルギー源としての期待は大きい。地球環境の保全とエネルギー価格などの市場変動を加味して、新エネルギー設備の事業性を評価すると、実現可能性が高まってきた。

熱・電気エネルギーを多量(一次エネルギー換算(原油)で年間1万6,700 kL, CO<sub>2</sub>排出量は年間3万9,000 t-CO<sub>2</sub>)に消費する産業ユーザーに、風力発電設備(4 MW級)とバイオマスエネルギーを利用した熱供給発



注:略語説明 COP (Coefficient of Performance)

図8 ガスエンジンと冷凍機の効率の年次推移

炭酸ガス削減効果を最大化するためには、ガスエンジンと冷凍機の機器効率向上が重要である。

電設備(バイオマスボイラ:30 t/h, 発電設備:4 MW)を導入した場合の炭酸ガス排出量の試算結果を図9に示す。この設備が稼働すると、既存設備の連用による炭酸ガスの排出量を3万500 t-CO<sub>2</sub>(約78%に相当)削減する画期的な新エネルギー設備となる。

### LCMの最小化

#### 最適保守スケジューリング

ESCO事業では、契約期間が長期なため、LCMを最小化するためには、長期での最適な保守管理が重要である。実際には、サイトごとに機器設備や環境条件(気象、運転、水質など)が異なるため、性能劣化を考慮した最適な保守管理方法を把握しておく必要

### (e) バイオマス

発電を行うための燃料としての利用を目的とした、生物に由来する有機物。木や食品廃棄物、畜産廃棄物などがその主なものである。木は細かなチップとして、また、食品廃棄物や畜産廃棄物からはメタンを取り出し、発電用のエネルギーとして利用する。従来では産業廃棄物となってしまうものを原料に、環境負荷の少ない発電を可能にする新しいエネルギー源として期待されている。

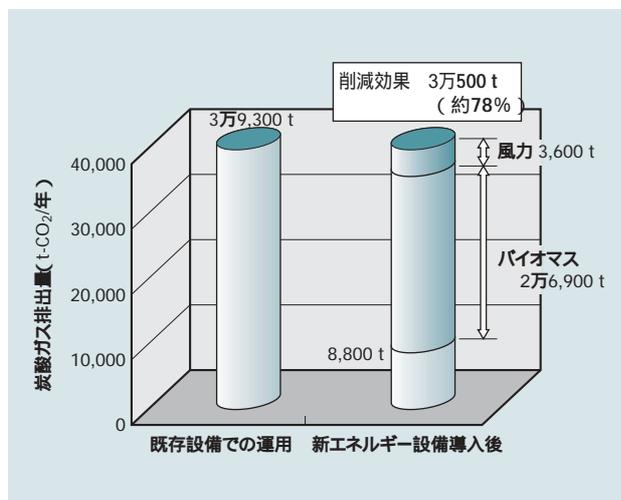
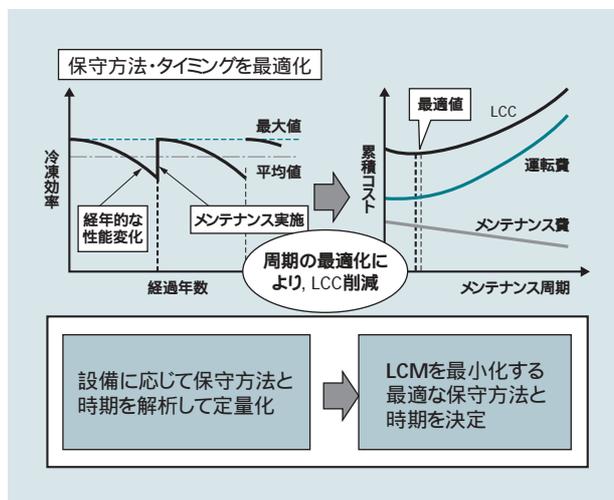


図9 新エネルギー設備導入による炭酸ガス削減効果

風力発電、バイオマス熱供給発電設備の導入により、工場の炭酸ガス排出量を78%削減することができる。



注:略語説明 LCC (Life Cycle Cost), LCM (Life Cycle Management)

図10 燃料価格変動リスクマネジメント

燃料価格変動が省エネルギーメリットに与える影響を分析する。

がある。また、性能を維持するために必要な保守費用増加と、性能劣化による運転費の増加とのトレードオフの最適化も重要である。

日立グループは、サイトごとに異なる機器設備と環境条件による設備性能の経年劣化を考慮したLCM最小化シミュレータを開発した。このモデルを使うと、最適な保守方法と時期を決定し、LCM最小化を図ることができる(図10参照)。

長期契約に対するリスクマネジメント

(1) エネルギー価格変動への対応

省エネルギー事業では、毎年の省エネルギーメリットで設備投資の回収を図るが、事業期間は一般に10年以上の長期間になる。その間、省エネルギー効果やコスト削減効果を計画どおりに確保できるかどうか、事業の安定した継続に重要である。

大きなリスク要因の一つにエネルギー価格(電気、ガス、原油)の変動が挙げられる。コージェネレーション導入や熱源転換など、一次エネルギー源を転換する省エネルギー事業の場合には、特にその影響は大きい。エネルギー価格は、需給動向だけでなく投

機的な動きも影響されるため、長期的な予測が困難である。

日立グループでは、設備構成やエネルギー価格の変動シナリオに応じたライフサイクルのコスト削減効果をシミュレートし、上記リスクを定量的に把握して、最適な事業設計を実現する。このシミュレータは、燃料単価を固定化する金融サービス(デリバティブ)を適用した場合の事業メリット安定化効果を分析することも可能で、以下の特徴がある(図11参照)。

- (a) 燃料価格変動に対する事業メリット変動の分布をシミュレートし、分布の安定化効果を比較評価する。
- (b) 燃料価格変動に付随して電気代単価も変動する。これらの相殺を考慮した適切な固定化数量を評価する。
- (c) 固定単価は燃料フォワードカーブを用いて固定化数量月次パターンごとに算定する。燃料市況の動向を踏まえて、10年間の固定化数量を変化させるパターンも検討可能である。

(2) 機能性能の経年劣化への対応

長期エネルギーサービスでは、保守による設備効率の維持と、異常の早期検出による突発的事故回避の観点から、機械の性能劣化の評価が重要になる。

ガスタービンを例にとると、性能は大気条件によっても変化し、日間で約5~10%、年間で最大20%も変動する。このため、運転時の真の性能を評価することは容易ではな

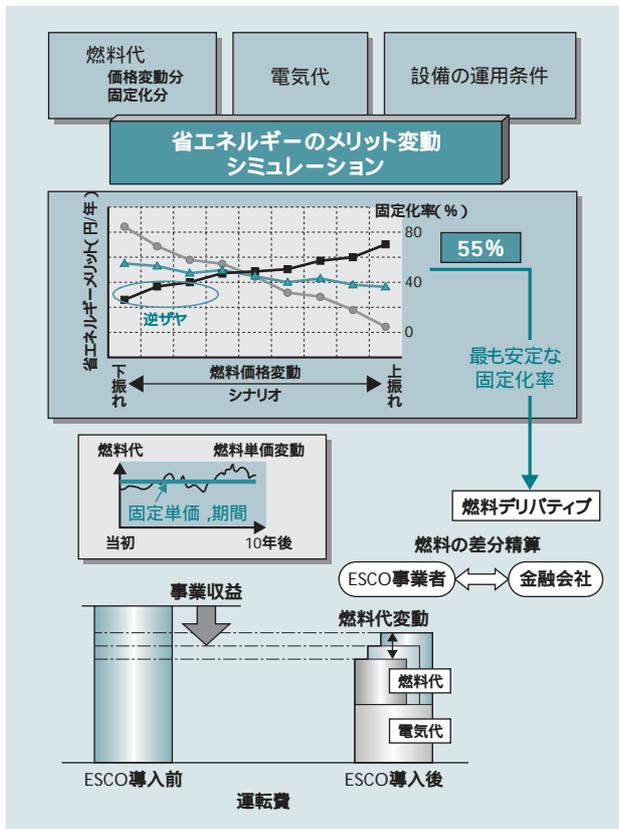


図11 燃料価格変動リスクマネジメント  
燃料価格変動が省エネルギーメリットに与える影響を分析する。

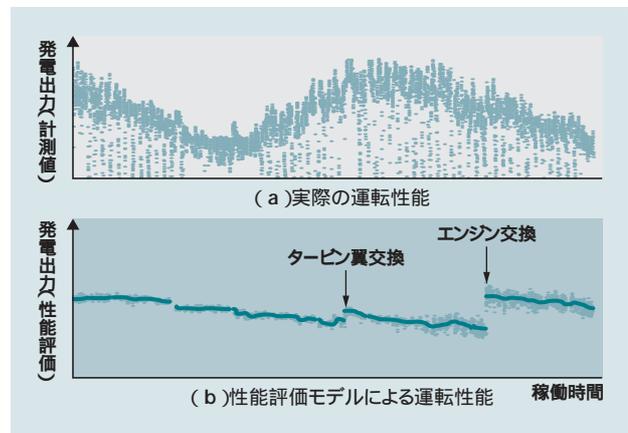


図12 ガスタービンの性能劣化評価例  
新たに開発したモデルを用いると、元の計測データでは、判断が難しい発電出力の経年劣化や保守による性能回復の状況を定量化できるので、LCM評価の精度を向上させることができる。

い。設備運転性能と劣化度を知るために、機械自体の真の性能を評価するツールが要求されてきた。

また、サービスの対象機器は自社製品だけではなく他社から購入するケースも多いが設計値を入手できないことが大半である。またガスタービンは数年ごとのオーバーホールと経年劣化によって性能が大きく変化するので、今までは機械の性能を正しく評価することはきわめて困難であった。

そこで、日立グループは、実機の運転履歴データから機器性能を直接推算する手法を開発した。統計処理を応用した独自開発アルゴリズムを用いることにより、実機の性能劣化を誤差±1%以内で高精度に評価できる。

評価事例を図12に示す。運転性能データでは、性能が大きくばらついているため、性能を特定することは難しいが、開発技術で評価すると性能の劣化や、エンジン交換による性能の回復度も定量評価できるようになった。この評価手法を使うと短期間での性能の異常検出も可能となり、突発事故の未然防止も可能となる。

### 炭酸ガス削減による 企業価値向上をめざして

地球温暖化を抑制し、持続可能な地球環境を保持するためには、炭酸ガスの排出量を、地球が保有する炭酸ガスの自然吸収量と均衡させなければならない。実現のためには経済面、技術面の両面に多くの困難があるが、技術の粋を結集して解決しなければならない。

省エネルギーは、人類の英知を用いてエネルギーの使用量を削減することであり、昨今では第三のエネルギーとも言われている。

日立グループは、エネルギー機器の製造者としての知見と、過去多年にわたって培ってきた機器の運用・保守に関する知見を融合させ、事業者からの炭酸ガス排出量を削減する施策を提供してきた。この成果は、2006年の地球温暖化防止活動の「環境大臣賞」を受賞した。今後も環境負荷の低減によって、さまざまな企業の価値向上に貢献できればこのうえない喜びである。

#### 参考文献など

- 1) 経済産業省 資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部:省エネルギー対策の現状と課題～ESCO事業への期待, pp.4, 20, 23(2006.11)
- 2) 環境省, 地球温暖化国内対策, 日本の温室効果ガス排出量・排出計画, <http://www.env.go.jp/earth/ondanka/domestic.html>
- 3) 経済産業省編:2006年版エネルギー白書, 第2部 第1章, 国内エネルギー動向, P.174
- 4) 坂内, 外:地球温暖化を抑制するエネルギーソリューション, 日立評論, 88, 12, 960~963(2006.12)

#### 執筆者紹介



**坂内 正明**  
1975年日立製作所入社, 都市開発システムグループ 都市開発ソリューション本部 所属  
現在, 産業・業務ユーザー向けの温暖化防止, 省エネルギーシステムのエンジニアリング業務に従事  
工学博士, 技術士(機械, 総合技術監理部門)  
日本機械学会会員, 空気調和・衛生工学会会員, 電気学会会員



**吉田 卓弥**  
1993年日立製作所入社, 電力グループ 電力・電機開発研究所 流体科学プロジェクト 所属  
現在, 発電設備のシステム評価技術の研究開発に従事  
日本エネルギー学会会員, 廃棄物学会会員



**富田 泰志**  
1990年日立製作所入社, 日立研究所 情報制御第二研究部 所属  
現在, エネルギーソリューションに関する研究開発に従事  
電気学会会員, 空気調和・衛生工学会会員, IEEE会員



**藤居 達郎**  
1991年日立製作所入社, 機械研究所 生活家電研究部 所属  
現在, 大型冷凍機, ヒートポンプの研究開発に従事  
日本機械学会会員, 空気調和・衛生工学会会員



**木村 泰崇**  
2003年日立製作所入社, 日立研究所 情報制御第二研究部 電力情報制御ユニット 所属  
現在, 産業用冷凍機の解析技術の研究開発に従事